УДК 004.89

А.Н. Землянский[1], Н.П. Каверина[2], В.Е. Снитюк[3]
[1]Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля, г. Черкассы, Украина
[2]Институт проблем математических машин и систем, г. Киев, Украина
[3]Черкасский государственный технологический университет, г. Черкассы, Украина
alnzeml@gmail.com, org@immsp.kiev.ua, snytyuk@gmail.com

Проектирование систем пожарного мониторинга в условиях неопределенности

В статье рассматривается задача оптимизации структуры системы пожарного мониторинга. Показано, что существующие схемы размещения датчиков пожарной сигнализации зачастую являются неэффективными, и предложен метод проектирования их структуры исходя из последствий возможного пожара. В качестве инструментария проектирования определены компоненты Soft Computing.

Введение

Ежегодно на Земле возникает около семи миллионов пожаров. Исходя из прогнозов, сделанных на основе пожарной статистики, в мире в течение следующего года может погибнуть на пожарах около 225 тыс. человек, 2 миллиона 250 тыс. человек могут получить увечья и 4,5 миллиона человек – тяжелые ожоговые травмы. Основными направлениями обеспечения пожарной безопасности являются устранение условий возникновения пожара и минимизация его последствий. Одним из способов решения таких задач есть установка автоматических средств предупреждения о возникновении пожара.

В Украине средствами пожарной автоматики оборудовано 89,1% объектов. Адресными установками сигнализации оборудовано около 78% объектов. Техническое обслуживание проводится на 72,6% объектов. 17,2% установок выработали свой ресурс и подлежат замене. На 11,8% объектов установки пожарной сигнализации подлежат замене. В 39,1% случаев пожарная автоматика не сработала, что привело к значительным материальным потерям. Таким образом, существует устойчивая тенденция к росту количества пожаров и аварий, уровню их последствий. Одной из причин этого является низкая эффективность систем пожарной автоматики и, в частности, систем пожарной сигнализации.

Данные статистики отчетливо свидетельствуют о состоянии и динамике систем пожарного мониторинга в Украине. Так, в частности, в 2007 году произошло 278 пожаров на объектах, оборудованных пожарной автоматикой, убытки от которых составили 76,7 млн грн. Было спасено материальных ценностей на сумму 520,1 млн грн., что почти в 4,5 раза больше, чем в предыдущем году. В 47 случаях (17 %) пожарная автоматика не сработала. Наибольшее количество таких случаев произошло в Донецкой области, где несрабатывание систем составило 53% , в г. Киеве – 50% и в Николаевской области – 42 %. На сегодняшний день в стране системами автоматической пожарной защиты оборудовано 347 тыс. объектов, что составляет 89% от необходимого количества. Очень малую их часть составляют адресные установки пожарной сигнализации. Не работает 11,4% систем пожарной автоматики. Техническое обслуживание проходят только 72% систем.

Существующая тенденция роста количества больших пожаров, аварий и их негативных последствий не в последнюю очередь обусловлена низкой эффективностью систем пожарной автоматики и, в частности, систем выявления пожаров – систем пожарной сигнализации. Заметим, что по уровню технических решений в этой отрасли Украина на один-два порядка отстает от развитых стран мира. В частности, за границей основные разработки ведутся Управлением по исследованиям в отрасли строительства (BRE, Великобритания), Лабораторией строительства и исследования пожаров (BERL, США), Институтом пожарных исследований (FRI, Япония), ВНИИПО МЧС России и другими. В Украине над подобной тематикой работают УкрНИИПБ МЧС Украины, НВО «Меридиан», НВФ «Артон», НВПФ «Тирас», НВПФ «Гамма». Проведенный анализ показывает, что их исследования касаются только одного элемента системы пожарного мониторинга – пожарного сигнализатора. И сейчас остается нерешенной проблема правильного выбора его типа. Кроме того, размещение сигнализации, прокладка линий связи, установка приемных устройств требует четкого, правильного выбора системы пожарного мониторинга для того или иного объекта, а невыполнение их требований ведет к увеличению ложных срабатываний, к увеличению времени выявления пожара.

Целью данной работы является разработка принципов, постановка задачи и определение элементов технологии оптимизации структуры системы пожарного мониторинга исходя из вероятного материального ущерба и экспертных заключений.

Принципы и задачи размещения датчиков пожарной сигнализации в условиях неопределенности

Учитывая современное состояние, особенности, преимущества и недостатки функционирующих систем пожарного мониторинга и отдельных датчиков, оптимизацию структуры системы пожарного мониторинга необходимо выполнять, базируясь на двух положениях:

1. Учитывая значительную стоимость элементной базы и установки систем пожарного мониторинга, при выборе датчиков, структуры их размещения и установки исходить из необходимости построения и использования некоторого подобия области компромисса между стоимостью системы и объемом возможного ущерба в случае пожара и несвоевременного его выявления [1].
2. При выборе структуры размещения датчиков ориентироваться на их временные и эксплуатационные параметры, а также экспертные заключения, содержащие интегральный «опыт» эксплуатации подобных систем с возможностью учета особенностей окружающей среды [2].

Решение задачи определения оптимальной структуры размещения пожарных датчиков сопровождается соблюдением некоторых принципов. В частности, при проектировании системы пожарного мониторинга необходимо предусматривать учет возможных человеческих жертв, величину материального ущерба, возможные последствия техногенных и экологических катастроф. Прогнозирование возможных будущих форс-мажорных обстоятельств и анализ статистической информации, содержащей данные о пожарах, параметрах срабатывания системы пожарного мониторинга, жертвах и материальном ущербе, проведенные в комплексе, являются необходимым условием определения мощности и структуры устанавливаемой системы пожарного мониторинга. Еще одним аспектом всестороннего анализа является определение материального ущерба от ложного срабатывания датчиков.

Устанавливая систему пожарного мониторинга, придерживаются двух основных положений. Во-первых, датчики размещают согласно прямоугольной или треугольной схемам (рис. 1, рис. 2), и, во-вторых, расстояние между датчиками и их местоположение определяются паспортными характеристиками. Как правило, датчики размещаются на потолке, и очевидно, что от величины пожара зависит и время срабатывания датчика. Тогда при установке датчиков необходимо учитывать и пожарную нагруженность помещения, под которой мы понимаем тип и состояние стен, пола, их покрытия, высоту потолков, состав и количество материалов, которые находятся в помещении и т.п.

Таким образом, имеем задачу идентификации зависимостей:

$$K = F_1(X_{in}, S),$$
$$L = F_2(X_{in}, S), \qquad (1)$$

где K – количество датчиков в помещении;

X_{in} – вышеперечисленные внутренние факторы;

S – размер ущерба от несрабатывания или несвоевременного срабатывания датчика;

L – форма размещения датчиков.

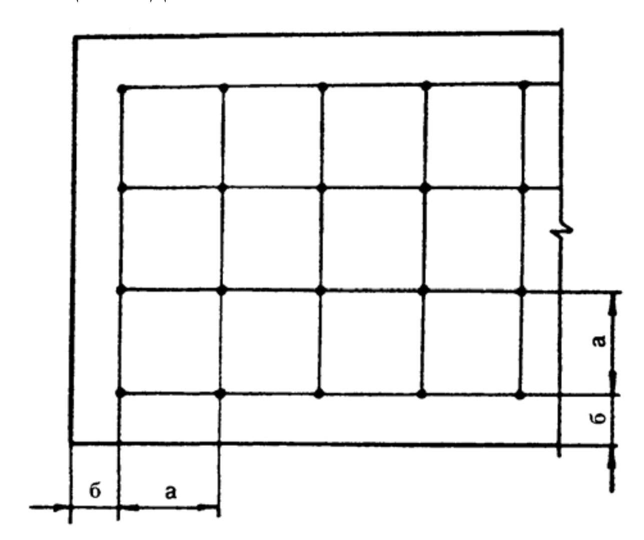


Рисунок 1 – Схема прямоугольного размещения датчиков
(а – расстояние между датчиками; б – расстояние от стенки к датчику)

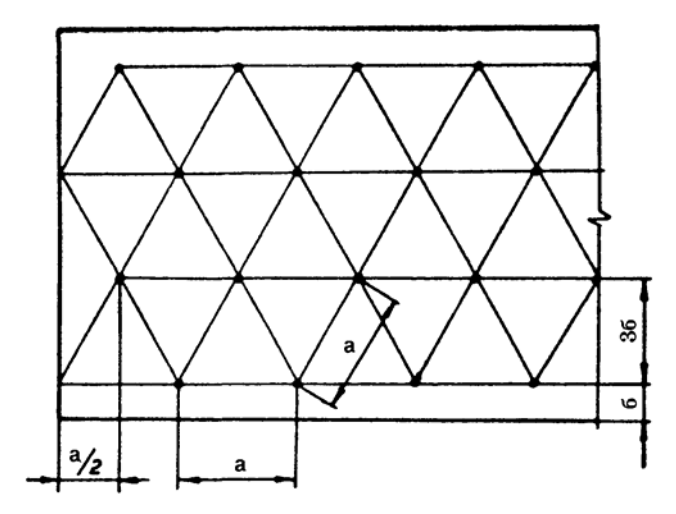


Рисунок 2 – Схема треугольного размещения датчиков

Предположим, что уровень резервирования P, в свою очередь, является функцией количества и формы размещения датчиков, т.е.

$$P = G(K, L). \quad (2)$$

Тогда необходимо решать задачу максимизации уровня резервирования при минимизации количества датчиков и упрощении схемы их размещения. Не в последнюю очередь здесь обращаем внимание на стоимостный критерий Z. Имеет место еще одна задача:

$$Z \to \min,\ P \to \max. \quad (3)$$

Ее решение заканчивается построением области компромисса [3-6], исходя из которой можно определить приемлемый вариант по количеству и форме размещения датчиков.

Решение задач (1) – (3), в частности определение дублирующих паспортные значения вероятностных характеристик датчика, рационально осуществлять, исходя из нечетких экспертных заключений. Важно учитывать особенности использования таких датчиков с учетом уровня их размещения над полом, а также определять приемлемое количество датчиков и схему их размещения в зависимости от предполагаемых последствий пожара и вероятности его возникновения.

Оптимизация структуры системы пожарного мониторинга с использованием нечеткой логики

Рассмотрим один из подходов к оптимизации размещения датчиков пожарной сигнализации. Известны многочисленные исследования, результатом которых являются рекомендации по количеству датчиков того или иного типа, которые могут быть использованы в определенных помещениях, на самолетах, подводных лодках и т.п. В их основе лежат определение вероятностей:

– срабатывания датчика, если имеет место пожар;
– несрабатывания датчика, если пожара нет;
– срабатывания датчика, если пожара нет;
– несрабатывания датчика, если пожар есть.

Исходя из значений указанных вероятностей осуществляется установка дополнительных датчиков и таким образом осуществляется резервирование и повышается надежность правильного срабатывания пожарной сигнализации. Заметим, что такая практика имеет место на высокотехнологичных объектах, уже перечисленных кораблях, самолетах, атомных электростанциях. Вместе с тем остается немало предприятий, объектов жилого сектора, где сигнализация устанавливается исходя из схем (рис. 1 и рис. 2). При этом учитывается высота размещения датчиков (как правило, она имеет интервальное представление) и, как следствие, площадь зоны, контролируемой датчиком. Значительная часть помещения остается неконтролируемой или датчики срабатывают, когда пожар достигает своей максимальной точки.

Таким образом, учитывая особенности и недостатки размещения датчиков пожарной сигнализации, предлагаются элементы, являющиеся составными частями технологии оптимизации структуры системы пожарного мониторинга:

– при установке датчиков пожарной сигнализации ориентироваться на возможные человеческие жертвы (X_1), величину материального ущерба (X_2), а также возможные последствия техногенных и экологических катастроф (X_3), вызванные несрабатыванием датчиков. Необходимо также учитывать убытки от их ложного срабатывания (X_4);

– для решения задачи оптимизации структуры системы пожарной сигнализации необходимо разработать метод определения коэффициента, указывающего на величину опасности пожара на объекте, $k = F(X_1, X_2, X_3, X_4)$;

– при превышении значения коэффициента k некоторой величины $C > 0$ разработать технологию, позволяющую определить количество и структуру размещения датчиков пожарной сигнализации. Очевидно, что в таком случае количество датчиков будет большим, чем рассмотрено на рис. 1 и рис. 2;

– при разработке структуры размещения датчиков базироваться на их технических характеристиках; результатах стендовых испытаний; особенностях помещений, где будут установлены датчики; экспертных заключениях;

– определение величин X_1, X_2, X_3 должно базироваться на определенной методике и очевидно, что для каждого объекта и каждого эксперта они будут различны. Поскольку ложное срабатывание датчика приводит к определенным материальным затратам, то осуществлять определение величины X_4 необходимо с учетом паспортной величины вероятности ложного срабатывания и потенциального ущерба от его срабатывания на объекте.

Вычисление коэффициента опасности пожара позволит минимизировать потенциальные риски его возникновения и будет определяющим информационным фактором при размещении датчиков.

Таким образом, для определения оптимальной структуры размещения датчиков пожарной сигнализации необходимо решить следующие задачи:

1. Осуществить идентификацию зависимости $k = F(X_1, X_2, X_3, X_4)$, исходя из экспертных заключений и системы нечетких продукционных правил:

$$\text{Если } X_1^i \in A_1^i, \text{и } X_2^i \in A_2^i, \text{и } X_3^i \in A_3^i, \text{и } X_4^i \in A_4^i, \text{ то } k \in A^i,\ i = \overline{1,n}, \tag{4}$$

где A_j^i – нечеткие множества со своими функциями принадлежности, n – количество экспертов.

2. Идентифицировать вероятность срабатывания датчика в зависимости от расстояния до очага возгорания и температуры горения:

$$\text{Если } d^i \in B_1^i \text{ и } T^i \in B_2^i, \text{ то } p \in P^i,\ i = \overline{1,n}, \tag{5}$$

где d^i – расстояние от очага возгорания до датчика, B_1^i – соответствующее нечеткое множество, T^i – температура пламени, p – вероятность правильного срабатывания датчика.

3. Исходя из решений задач 1 и 2, определить оптимальную структуру размещения датчиков, используя нечеткие продукционные правила:

$$\text{Если } S_j^i \in C_j^i, \text{и } p \in B_j^i, \text{и } k \in A_j^i, \text{ то } Q \in R_j^i,\ i = \overline{1,n},\ j = \overline{1,m}, \tag{6}$$

где S_j^i – j-й вариант структуры, предложенный i-м экспертом, C_j^i – соответствующее нечеткое множество, Q – интегральный показатель, указывающий на оптимальность размещения датчиков, R_j^i – соответствующее нечеткое множество. Решение последней задачи и укажет на вариант структуры, являющийся оптимальным.

Необходимо заметить, что в приведенных задачах присутствует значительное количество нечетких продукционных правил, содержащих функции принадлежности, предложенные экспертами. Очевидно, что такие правила нередко имеют противоречивый характер. Их объективизация заключается в определении параметров функций принад-

лежности исходя из значений, содержащихся в обучающих выборках, и решении задачи минимизации суммарной ошибки при равноправных заключениях или минимизации взвешенной ошибки в противном случае.

Для решения такой задачи возможно использование аппарата теории нечетких нейросетей или эволюционного моделирования. Последнее по ряду соображений представляется предпочтительным, хотя эксперименты остаются еще впереди.

Выводы

При моделировании и определении оптимальной структуры систем пожарного мониторинга в основу необходимо положить использование нечетких продукционных правил как наиболее точно соответствующих структуре экспертных заключений о том или ином размещении датчиков.

Рассмотренные в статье аспекты решения задачи оптимизации системы пожарного мониторинга в условиях неопределенности вызваны низкой вероятностью срабатывания датчиков пожарной сигнализации и соответствующими последствиями. Зависимость размещения датчиков от факторов внешней среды и внутренних особенностей объектов должна учитываться наряду с экспертными заключениями. Соответствующие технологии оптимизации структуры датчиков пожаротушения необходимо базировать на технологиях «мягких» вычислений, поскольку жестко заданные правила их размещения оказываются достаточно часто неэффективными.

Литература

1. Снитюк В.Е. Эволюционные технологии принятия решений в пожаротушении / Снитюк В.Е., Быченко А.А., Джулай А.Н. – Черкассы : Маклаут, 2008. – 268 с.
2. Землянский А.Н. Принципы и задачи оптимизации размещения датчиков пожарной сигнализации в условиях неопределенности / А.Н. Землянский, В.Е. Снитюк // Knowledge-Dialogue-Solution, Supplement to Int. Journal «Information Technologies and Knowledge». – ITHEA, Sofia, 2009. Vol. 3, № 15. – P. 161-164.
3. Снитюк В.Е. Прогнозирование. Модели, методы, алгоритмы / Снитюк В.Е. – Киев : Маклаут, 2008. – 364 с.
4. Snytyuk V. Evolutionary technique of shorter route determination of fire brigade following to fire place with the optimized space of search / V. Snytyuk, O. Dghulay // Information Technologies and Knowledge. − 2007. − Vol. 1, № 4. − P. 325-332.
5. Снитюк В.Е. Эволюционное моделирование процесса распространения пожара / В.Е. Снитюк, А.А. Быченко // Proc. XIII-th Int. Conf. «Knowledge-dialogue-Solution», 2007 (June). Bulgaria, Varna. – P. 247-254.
6. Гнатиенко Г.Н. Экспертные технологии принятия решений / Г.Н. Гнатиенко, В.Е. Снитюк. – Киев : Маклаут, 2008. – 444 с.

О.М. Землянський, Н.П. Каверіна, В.Є. Снитюк

Проектування систем пожежного моніторингу в умовах невизначеності

У статті розглядається задача оптимізації структури системи пожежного моніторингу. Показано, що існуючі схеми розміщення датчиків пожежної сигналізації часто є неефективними і запропоновано метод проектування їх структури, виходячи із наслідків можливої пожежі. Як інструментарій проектування визначено компоненти Soft Computing.

O.M. Zemlyanskiy, N.P. Kaverina, V.E. Snytyuk

Designing of Fire Monitoring Systems in Uncertainty Conditions

In the paper the structure optimization problem of fire monitoring system is considered. It is shown that existing schemes of gauges placing of fire alarm system frequently are inefficient and designing method of their structure, proceeding from possible fire consequences is offered. As designing toolkit components Soft Computing are defined.

Статья поступила в редакцию 30.06.2010.